

# Vorlesung Übersetzerbau (Wintersemester 2021/22)

Michael Hanus

27. Januar 2022

Die Übersetzung von Programmiersprachen ist eine wohldefinierte aber dennoch komplexe Aufgabe. Zur Beherrschung dieser Komplexität wurde eine Zerlegung in einzelne Übersetzungsaufgaben entwickelt, die heute in dieser oder ähnlicher Form in den meisten Übersetzern verwendet wird. In dieser Vorlesung werden die einzelnen Übersetzungsaufgaben und die bekannten Lösungsansätze dazu vorgestellt. Im Einzelnen werden behandelt:

- Programmiersprachen, Interpreter, Übersetzer
- Lexikalische Analyse
- Syntaktische Analyse
- Semantische Analyse
- Codeerzeugung

## Detaillierter Vorlesungsverlauf

**26.10.: Einführung:** Übersetzer, Quellprogramm, Zielprogramm, Übersetzungsaufgabe, typische Übersetzerstruktur (lexikalische Analyse, syntaktische Analyse, Parsing-Aktionen, semantische Analyse, Zwischencodeerzeugung, Codeauswahl, Assembler), Frontend, Backend, Simple als einfache Beispielsprache, Darstellung von Ableitungsbäumen in Haskell

**28.10.: Programmiersprachen, Interpreter, Übersetzer:** Programmiersprache als partielle Funktion, Interpreter, Übersetzer, partieller Auswerter, Erzeugung von Übersetzern aus Interpretern mittels partieller Auswertung

**2.11.:** Kombination von Interpretern und Übersetzern, abstrakte Maschinen (JVM), Bootstrapping; Einführung in die **lexikalische Analyse**, Aufgabe eines Scanners, reguläre Ausdrücke

- 4.11.:** Übersetzung in NFA, principle of longest match,  $\epsilon$ -Abschluss, Konvertierung NFA in DFA, Hinweise zur Zustandsreduktion; Einführung in die **syntaktische Analyse**
- 9.11.:** kontextfreie Grammatik, Ableitungen, erzeugte Sprache, Ableitungsbaum, eindeutige und mehrdeutige Grammatiken, Recursive-descent Parser, Implementierung in Haskell, (starke) LL(k)-Grammatik, Definition  $FIRST_k$  und  $FOLLOW_k$ , Steuermenge  $D_k$
- 11.11.:** Spezialisierung fuer  $k = 1$ , Algorithmus zur  $FIRST/FOLLOW$ -Berechnung, Konstruktion einer Parsing-Tabelle, Elimination von Linksrekursion, Linksfaktorisierung, Fehlerbehandlung in RD-Parsern
- 16.11.:** Einführung in die Bottom-Up/LR(k)-Analyse, shift-reduce-Parser, prinzipielle Arbeitsweise, LR-Parsing-Tabelle, LR(0)-Element, LR(0)-Zustand goto-Funktion, Berechnung des LR(0)-Automaten, Berechnung der LR(0)-Parsingtabelle, LR(0)-Grammatik
- 18.11.:** SLR-Parser und SLR(1)-Grammatik, LR(1)-Element, LR(1)-Abschluss und goto-Funktion, LR(1)-Parsingtabelle, LR(1)-Grammatik, Beispiel für LR(1)-Parsing-Tabelle (Dereferenzierung à la C), LALR(1)-Idee, LALR(1)-Parsingtabelle, LALR(1)-Grammatik, Zusammenhang (Inklusion) der Grammatik- und Sprachklassen; Parser-Generatoren am Beispiel von Happy
- 23.11.:** Konflikte und deren Lösung, if-then-else-Konflikte, Parserdeklarationen für Assoziativitäten, Parserdeklarationen für Prioritäten; Semantische Aktionen, Implementierung in RD-Parsern (digits-Beispiel), Realisierung in Bottom-Up-Parsern (digits-Beispiel, Desk Calculator), Komplexität semantischer Aktionen in RD-Parsern (Ausdruckswerte berechnen), Interpreter für Simple-Programme als semantische Aktion, semantische Werte als Umgebungstransformation
- 25.11.:** Simple-Interpreter mit Ausgabe; attributierte Grammatiken, Attributierung, Beispiel: Berechnung der maximalen Blockschachtelung, S-attribuiert, L-attribuiert, Implementierung L-attributierter Grammatiken in RD-Parsern, Implementierung attributierter Grammatiken in Happy; Abstrakte Syntax, Beispiel für Simple, Implementierung abstrakter Syntax in Haskell, Happy-Implementierung zur Generierung abstrakter Syntaxbäume für Simple
- 30.11.:** Erweiterung abstrakter Syntax um Positionsinformationen; Semantische Analyse, Scope-Verwaltung, Implementierung von Symboltabellen; Codeerzeugung (Überblick), Laufzeitspeicherorganisation: kellerartige Verwaltung von Prozeduren, Verwaltung von Blöcken, Speicherbereiche für dynamische Arrays und Records, Gesamtaufteilung des Laufzeitspeichers
- 2.12.:** Aufbau von Prozedurrahmen, dynamischer und statischer Vorgänger, Übergabe der Rücksprungadresse in Register, Übergabe von Parametern in Registern, Ver-

- waltung statischer Vorgänger, Display-Technik, Probleme von Prozeduren als Parameter, Lambda-Lifting
- 7.12.:** Speicheraufbau für lokale Variablen, Records, statische und dynamische Felder, Vereinigungstypen, Funktionen als Variablen; Motivation für Zwischencode, Stackmaschinencode, 3-Adresscode
  - 9.12.:** abstrakte Ausdrucksbäume (Definition der Datentypen, Generierung temporärer Marken), Übersetzung in Zwischencode: l/r-Werte, Übersetzung von Konstanten, Variablen, Operatoren, Funktionen, Übersetzung von Zeigervariablen, Zuweisungen und Konditionalen
  - 14.12.:** Übersetzung von while-Schleifen, Übersetzung von booleschen Ausdrücken (mit Sprüngen), Transformation abstrakter Ausdrucksbäume in Basisblöcke: Linearisierung, Basisblockgruppierung
  - 16.12.:** Umordnen von Basisblöcken zu Traces, Sprungcodeanpassung; Aufgabe der Zielcodauswahl, Baummuster, Beispiele für unterschiedliche Zielcodauswahlen
  - 11.1.:** lokal optimale und optimale Zielcodes, Berechnung lokal optimaler Zielcodes (Maximal Munch), Berechnung optimaler Zielcodes mittels dynamischer Programmierung, Beispiel zur Berechnung optimaler Zielcodes; Lebendigkeitsanalyse: Motivation, Kontrollflussgraph, Lebendigkeit von Variablen, Gleichungssystem
  - 13.1.:** Fixpunktiteration, Berechnungsstrategien; Registerallokation für Basisblöcke: Informationsverwaltung (Registerinhalte, Variablenpositionen, Lebendigkeit), Auswahl eines freien Registers, sequentielle Codeinspektion, Beispiel für Registerallokation
  - 18.1.:** Überblick über Techniken zur Code-Optimierung, Algebraische Optimierung, Optimierung von Zwischendatenstrukturen partielle Auswertung, Konstantenpropagation, Konstantenfaltung, Kopierpropagation, Reduktion der Stärke von Operatoren, In-line expansion
  - 20.1.:** Elimination redundanter Berechnungen, Schleifenoptimierung, Verschiebung von Schleifeninvarianten, Schleifenentfalten, Elimination toten Codes, Codeverschiebung über Basisblöcke, Peephole-Optimierung, Datenflussanalyse (use-def chaining, liveness)
  - 25.1.:** abstrakte Interpretation, Vorzeichenberechnung, Beispiel Analyse der Fakultätsfunktion  
Implementierung logischer Programmiersprachen: Grundideen der WAM, prozedurale Implementierung
  - 27.1.:** Implementierung logischer Programmiersprachen: prozedurale Implementierung, Heap-Speicher für Terme, Backtrack-Stack, Speicheraufbau, Register, Maschineninstruktionen der WAM, Beispiel `append`